

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 61-289293

(43)Date of publication of application : 19.12.1986

(51)Int.Cl.

F28F 1/40
B21C 37/22
B21D 53/06
F28F 1/42

(21)Application number : 60-128200

(71)Applicant : HITACHI LTD
HITACHI CABLE LTD

(22)Date of filing : 14.06.1985

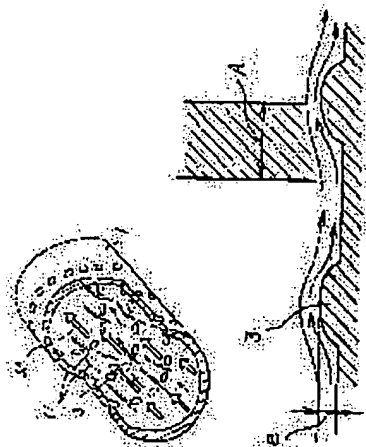
(72)Inventor : KUWABARA HEIKICHI
TAKAHASHI KENJI
YANAGIDA TAKEHIKO
NAKAYAMA HISASHI
SUGIMOTO SHIGEO
OIZUMI KIYOSHI

(54) HEAT TRANSFER TUBE AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide the heat transfer tube having heat transfer surface structure, high in heat transfer coefficient and durability, and the inexpensive manufacturing method thereof by a method wherein the shape of the section of protuberance, provided in the tube, is constituted of a circle or a smooth curve like the circle at the bottom surface and an arbitrary height while the protuberances are arranged in the tube regularly along a spiral curve.

CONSTITUTION: The protuberances 3 are formed on the inner wall surface 1 of the heat transfer tube along the spiral curve. The section of the protuberance 3 is circle or ellipse. When single-phase fluid, having no phase change, flows through the tube, the fluid 60 at the central portion of the tube flows into the axial direction of the tube, however, the flow direction of fluid 61, near the wall surface of the tube, is curved and a part thereof generates vertical vortex having the rotating axis thereof in the axial direction of the tube when it flows through gaps between protuberances. In the transversal section of the tube, the stream line is not curved suddenly when the flow collides against the protuberance since the protuberance is provided with a curvature, therefore, effect of corrosion due to the shear stress of the fluid may be small.



⑫ 公開特許公報(A)

昭61-289293

⑬ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和61年(1986)12月19日

F 28 F 1/40
B 21 C 37/22
B 21 D 53/06
F 28 F 1/42

A-6748-3L
6778-4E
6778-4E
6748-3L

審査請求 未請求 発明の数 3 (全11頁)

⑮ 発明の名称 伝熱管及びその製造方法

⑯ 特 願 昭60-128200

⑰ 出 願 昭60(1985)6月14日

⑱ 発 明 者	桑 原 平 吉	土浦市神立町502番地	株式会社日立製作所機械研究所内
⑱ 発 明 者	高 橋 研 二	土浦市神立町502番地	株式会社日立製作所機械研究所内
⑱ 発 明 者	柳 田 武 彦	土浦市神立町502番地	株式会社日立製作所機械研究所内
⑱ 発 明 者	中 山 恒	土浦市神立町502番地	株式会社日立製作所機械研究所内
⑱ 発 明 者	杉 本 滋 郎	土浦市神立町603番地	株式会社日立製作所土浦工場内
⑱ 発 明 者	大 泉 清	土浦市木田余町3550番地	日立電線株式会社土浦工場内
⑲ 出 願 人	株式会社日立製作所	東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地	
⑲ 出 願 人	日立電線株式会社	東京都千代田区丸の内2丁目1番2号	
⑳ 代 理 人	弁理士 小川 勝男	外1名	

明 細 書

1. 発明の名称 伝熱管及びその製造方法

2. 特許請求の範囲

1. 伝熱管内面に、1条あるいは複数条の螺旋曲線に沿って一定間隙で断続的に設けられた突起の列を有し、各突起列の間の管内表面は管軸に対して平行な面を有するものにおいて、前記各突起は、高さが0.45mm～0.6mm、円周方向ピッチが3.5～5mmであり、底面及び任意の高さにおける横断面形状が円、楕円もしくはこれらに近似したなめらかな曲線からなり、横断面積が突起の高さ方向に連続的に減少することを特徴とする伝熱管。

2. 伝熱管内面に、1条あるいは複数条の螺旋曲線に沿って一定間隙で断続的に設けられた突起の列を有し、各突起列の間の管内表面は管軸に対して平行な面を有し、伝熱管外面に多孔質伝熱面を有するものにおいて、前記各突起は高さが0.45mm～0.6mm、円周方向ピッチが3.5mm～5mm、軸方向ピッチが5mm～15mm

であり、かつ各突起は底面及び任意の高さにおける横断面形状が円、楕円もしくはこれらに近似したなめらかな曲線からなり、横断面積が突起の高さ方向に連続的に減少することを特徴とする伝熱管。

3. 伝熱管内面に、塑性加工により、1条あるいは複数条の螺旋曲線に沿って管軸に平行な面をへだてて一定間隙で断続的に突起列を設けるものにおいて、外周上に断続的に突起を有する歯車状の工具と円管固定用工具を用いて管外から管内への押し出し加工を行なうことにより、管内面に断続的な突起列を形成することを特徴とする伝熱管の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

(発明の利用分野)

この発明は、空気調和機、冷凍機等の熱交換器に用いる伝熱管の構造及び製法に関するものであり、特に单相流伝熱管に適した面構造及びその製法に係わる発明である。

(発明の背景)

周知の如く空気調和機や冷凍機等の熱交換器には伝熱管が設けられており、これらの管の内面の構造は管に加工を施さない平滑管の他、米国特許第3,768,291号の如き二次元状のリブを備えたもの、あるいは、米国特許第3,830,087号の例のように管壁内側に転造用の加工プラグを挿入し、溝加工を行うことにより一次側のリブを設けた後、さらに追加加工により二次側の溝を付けた三次元突起状の面構造を有する管が知られている。

この面構造を有する伝熱管を例えば単相流用の伝熱面に用いたとすると、この面構造の突起形状は丸みを帯びていない鋭角状であり、後に詳述するが角を曲がる流れによりはく離渦を生じ、伝熱管の入出口間の流体の圧力損失が高くなり、流体の駆動力を多く要する。また、流体の流線に対する垂直な平面に対しては、流体がその部分でよどむために運動エネルギーが衝突の圧力となり、このためその部分が長時間たつうちに減耗する。伝熱性能については、この減耗によりリブの高さ、リブの形状が最適値から変動するために初期の性能

値よりも低くなる。

またこの転造プラグを用いる方法は、一次溝と二次溝を加工しなければならないので、必然的に加工工程が増え、コストアップの要因となっている。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、熱伝達率が高い性能を得るとともに、耐久性の高い伝熱面構造を有する伝熱管及びその安価な製法を提供することにある。

〔発明の概要〕

この発明の特徴は、管内に設けた突起の横断面の形状が、底面及び任意の高さの位置において円、またはだ円のような滑らかな曲線で構成され、このような突起を、管内にらせん状の曲線に沿って規則正しく配列したものである。

〔発明の実施例〕

以下、本発明の一実施例を第1、第2図により説明する。伝熱管内壁面1に、突起3をらせん状の曲線4に沿って形成する。この突起3は、第3図(A)に示すように、平面が円形の突起32か、

あるいは第3図(B)に示すように、楕円形の突起34である。または(C)に示すように卵の断面形状に類似した非対称の楕円曲線状の突起36でもよい。あるいは(D)の如き小判状38でもよい。また、突起の底面より任意の高さの横断面形状も、それぞれ底面と類似の形状をしており、底面より横断面積は減少している。また縦断面形状は、第4図(A)、(B)、(C)、(D)に示すようになめらかな曲線で形成されている。なお、平面は第3図(A)～(D)に近似した曲面でもよい。

次に本発明の製造方法を図面をもつて説明する。

第5図に、本発明の製造法の一例を示す。内、外周面が平滑な円管1の外周に沿って円管固定用工具52及び歯車状工具54を有する回転体50を外側電力源(図示せず)による回転させ、歯車状工具54の歯40で管を塑性変形させて管内に突起3を形成する。この場合、歯車状工具の取付け角度により管軸O-O'方向のピッチが決まる。なお、突起3の形状は、工具の歯40に対応し、

歯40の角部に相当する部分が丸味を有するものとなる。

突起3に対応する管外の凹みの円周方向ピッチは、歯車状工具54に備えられた歯40の円周方向ピッチに等しく、工具54の押し付け量を調節して、突起3の高さを定めることが出来る。工具54を管軸に対して直角方向に回転させる場合には、各々独立した環状の突起3の列を管内壁に設けられる。歯車状工具54を図に示すように回転させつつ、管1を矢印方向に送るとスパイラル状の突起列が形成される。管1を固定し歯車状工具54をスパイラル状に遠ませても、スパイラル状に進む突起列が形成される。なお、一般には、管を軸方向に送り、工具54を固定して製作する。突起列の間は、平らな面として残る。

管外に突起3を設ける際にできる凹部分には、管外沸騰、凝縮を促進するための微細加工を行うことはできず、この部分を除いた管外の平滑な部分が管外伝熱促進の有効面積となる。このため管外機械加工を精度良く行うために各突起列の間の

管外に、管軸に対して平行な面を必要とする。このとき管外表面が管軸に対して平行であれば管内表面もこの部分では管軸に対して平行である。

第5A図に、用いて歯車状工具54の略図を示す。工具の歯先円周角度 β を変えることによつて突起の円周方向のピッチ Z を変えることができ、また歯先高さ h は、管外から管内へ押込む深さより大きいものを用いる。この歯車状工具54の一例を挙げると外径 D はおよび33~35mm、歯先高さ h は0.45~0.8mm、歯先円周角 β は $10^\circ \sim 20^\circ$ 、歯先の幅 w はおよそ1mmで、この寸法の歯車状工具を用いることによりリブ高さ $e = 0.45 \sim 6 \text{ mm}$ 、円周方向ピッチ $Z = 2.5 \sim 5 \text{ mm}$ の伝熱管を製作することができる。

この場合、外径 D が変われば、最適な円周方向ピッチを形成する歯先円周角度 β はそれとともに変化する。

管軸方向リブピッチは、歯車状工具54の角度を管軸垂直方向を 0° とした場合、 $5^\circ \sim 20^\circ$ 傾けることにより軸方向ピッチを5~14mmの範

囲で変えられる。

図には、工具54ひとつを用いて一条の突起列を設ける図を示してあるが、工具54を複数個並べて複数条の突起列を形成することも可能である。これらの選択は、突起列形成にもとづく工数の削減を図ることも出来るが、突起の円周方向ピッチと、突起列の管軸方向ピッチとの相関によつて決められる。このような方法により、突起3の横断面形状が円弧形状をしており、突起列方向に切つた突起3の縦断面形状が、突起列の長手方向に向つて円弧状に起伏を持つような突起形状をした突起列を管内壁に形成することができる。

突起の大きさの一例として、楕円の長径が2~5mm、短径が1.5~3mm程度がよい。突起列は図のように、各々独立した、先端にまるみをおびた円すい形状の突起を内壁面上に並べた構造でも良いし、同一突起列において、隣接する突起間が管内壁の平滑部よりも起伏していてもよい。

第6図は、管内を相変化のない単相流体が流れるときの流線の模式図を示す。管中央部の流体

60は、巻軸方向に流れて行くが、壁面近傍の流体61は、突起により流れ方向が曲げられ、その一部は突起と突起の隙間を流出するとき、管軸方向にその回転軸を有する縦渦ができる。

本発明の伝熱管の突起は、第7図に示されるように、縦断面では、流れが突起に衝突しても突起が曲率を有しているため、流線が急激に曲らずにリブに沿つて流れ、壁面に働く流体の粘性力に起因するせん断応力の作用がより少なく、流体のせん断応力に起因する腐食の作用が小さい。また、第8図に示すように、横断面でも、突起の側面部分を通る流れも曲率を有するために、流線の方の急激な変化、及びはく離渦の発生量は少なく流体の作用による腐食の作用はごくわずかである。

耐腐蝕性を確認するため、腐蝕の加速実験を表1の条件で行つた。

表1 腐蝕実験条件

流 速	2 m / s
水 温	40℃
p H	5.0
C l ⁻	600 p p m
試験期間	30日

表2 腐蝕実験結果

突起形状	腐蝕速度(mm/year)
二次元形状(連続した突起)	0.56
三次元形状(突起が角形)	0.77
三次元形状(突起が丸い)	0.54

実験結果は、表2に示されるように、突起形状が丸いものの方が、突起が角形の三次元形状のものより腐食速度が遅くなっている。これは従来から用いられ、耐腐蝕性が確認されている二次元形状の突起を有する伝熱管の腐蝕速度とほぼ同じであり、ここに示した突起が丸い三次元形状は実用的には逆しつかえない腐蝕の程度である。

本発明の曲率を有する三次元形状の突起を有する伝熱管の性能について以下に述べる。本発明の伝熱管の性能に及ぼすパラメータのうち、突起高さ、円周方向の突起ピッチ及び管軸方向の突起のピッチに着目し、実験を実施しその効果を明らかにした。なお伝熱管内径 d は $14.7 \text{ mm} \sim 15.8 \text{ mm}$ の範囲で実験を実施した。

第9図に、管軸方向のピッチ p を 7 mm と固定し、また円周方向のピッチ z を 4 mm に固定して突起高さ e を 0.45 mm (\triangleright 印)、 0.5 mm (Δ 印)、 0.6 mm (\square 印) に変えた場合の熱伝達率及び圧力損失の測定結果を示す。横軸にはレイノルズ数 ($= u \cdot d / \nu$, u : 管内平均流速 (m/s), d : 管内径 (mm), ν : 流体の動粘性係数 (m^2/s)) で、縦軸は無次元化された熱伝達率 $Nu / Pr^{0.4}$ ($= \alpha d / \lambda / Pr^{0.4}$, α : 熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), λ : 流体の熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$), Pr : 流体のプラントル数)、及び管路の抵抗係数 f を示してある。

尚、第9図においては煩瑣になることを避ける

係数が増大しているので伝熱促進効果は少なくなり、突起高さが 0.5 mm が最適高さであることが考えられる。

このことを確かめるため第9図で得られた結果を従来一般に熱伝達率、及び抵抗係数についてその内容が知られている文献 (例えば、R.L.Webb and E.R.G.Eckert "Application of Rough Surfaces to Heat Exchanger Design", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.15, p1647~p1658, 1972) で示されるような

$$\frac{(s_t / s_{t0})}{(f / f_0)^{1/2}}$$

(添字0; 平滑管)

で与えられる熱伝達率、及び抵抗係数について、上記の三次元形状の突起の付いた伝熱管と、何等このような加工を施していない平滑管とこれらの比を取ったものの割合で評価を行った。これらの値は平滑管については1であり、伝熱性能が向上するにしたがつてその値が大きくなり、上記第

ために図示してはないが、管の内面に何等加工を施さない平滑管について実験を行った結果、熱伝達率に付いては従来一般に知られている Dittus-Boelter の式、 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$ (グラフA) と良く一致し、管路の抵抗係数に付いては Prandtl の式 $1/\sqrt{f} = 2.0 \log(Re \sqrt{f}) - 0.8$ (グラフB) と良く一致した結果が得られている。なお、管内径はこの場合 15.8 mm である。熱伝達率については、突起高さ 0.5 mm と 0.6 mm のものは、平滑管 (A) に比して2倍以上の高い性能を有している。

第10図に示されるように、突起高さ e を高くしていくと、熱伝達率の上昇割合よりも抵抗係数の増加割合の方が高くなっている。

第9図に示されるように、突起高さを高くすると圧力損失が高くなり、ある限界以上、圧力損失が高くなると熱伝達率の上昇による圧力損失の低減分が吸収しきれなくなる。すなわち、この場合では突起高さが 0.5 mm より高くなると、熱伝達率の上昇分がわずかであるにもかかわらず、抵抗

9図に示された実験値を水速 2.5 m/s と、この伝熱管の適用される冷凍機の水温に対応する物性値とから算出される $Re = 3 \times 10^4$ の場合について整理して結果を第10図に示してある。

第10図に示される通り、最も伝熱性能の良いのは、突起高さが 0.5 mm の伝熱管であり、突起高さが 0.5 mm より高くなつた場合、あるいは 0.5 mm より低くなると伝熱性能は低い値を示す。この最適な突起高さは、流体の壁面近傍の境界層と関連があり、管径等により多少の値の違いはあるが、ほぼこの最適値は一定の値をとると考えられる。第10図においてDで示される従来の二次元リブ付管 (米国特許第3,768,291号相当) の実験データ ($e = 0.3 \text{ mm}$, $p = 4 \text{ mm}$) より、伝熱性能を示す式 (1) を計算すると 1.43 となり、この値より高い範囲を三次元リブ付管の特徴を有する範囲とすると、突起高さの範囲は $0.45 \sim 0.6 \text{ mm}$ となる。

次に、突起の円周方向ピッチが伝熱性能に及ぼす影響をモデル実験によつて調べた結果を述べる。

この場合の z は、管内面の突起の周方向ピッチである。第11図に管軸方向のピッチ p を7mmに固定し、また突起高さを0.45mmとした場合の z を変えた場合の熱伝達率と抵抗係数の測定結果を示す。図において、 z が2.5mm(Δ 印)、4mm(O印)、5mm(□印)の結果が示されている。 $z=2.5$ mmと4mmの結果を比較すると、熱伝達率は $z=4$ mmが高い値を示しており、抵抗係数 f は、 $z=2.5$ mmの方が大きくなっている。で $z=4$ mmの方が伝熱性能が高いことは明らかである。

$z=2.5$ mmの場合は、第12図で示されるように突起5と突起5が連続し、突起と突起の空隙 c がない状態で、第13図で示されるような突起と突起の間から生成される縦渦6の大きさが小さく微小な縦渦7が放出される。すなわち、突起と突起が密になった極限が二次元状突起で、伝熱促進の機構が三次元突起から二次突起に近づくため、伝熱性能が二次元状の突起と類似してくる。第11図に二次元突起(\diamond 印、 $p=7$ mm、 $e=0.5$ mm)の測定結果を三次元突起の結果をあわせて示

した。この結果からも示されるようにピッチ z が密になると二次元状突起の抵抗係数の結果と同様に圧力損失が高くなっている。

$z=4$ mmの場合は、第13図(□)で示されるように、突起と突起の空隙 c から、流れ方向に回転をもつ縦渦6が発生し、これが伝熱促進効果を高めている。二次元状突起を過ぎる流れは、物体の位置で流れがはく離し、流れが物体後流部で再付着することによって伝熱促進されている。この場合、物体の直後で流れが渦み、圧力損失を上昇させていたが、三次元状突起の場合は、前記の縦渦によって伝熱促進されるので、流れのエネルギーを有効に伝熱促進に用いることができる。この場合、供試伝熱管の空隙 c は1mmであり、また突起の長手方向の距離 b は3mmであつた。この空隙 c がある程度以上広くなると、伝熱促進に効果的な縦渦が生成されずに伝熱促進の効果は余り高くない。第11図に示されるように、円周方向ピッチ z が5mmの場合(□印)は熱伝達率の上昇分が、 $z=4$ mmの場合より低くなり、空隙 c が広く

なると熱伝達率が低下することを裏付けている。

この場合も前述のように伝熱性能を一般的に表示する式、 $s_t/s_{t0}/(f/f_0)^{1/3}$ で実験値を整理し、第14図に示す。図において示されるように、 $z=4$ mmが最大の値をとっている。また p の値は二次元リブ($e=0.3$ mm、 $p=4$ mm)の実験値より得られたもので、三次元突起の伝熱促進効果が高いことを示している。前記したように、二次元リブ付伝熱管の実験データから算出した値より高い範囲を限定する範囲とすると、円周方向のピッチの範囲は3.5mm~5mmである。

軸方向ピッチの影響については、第15図に示されるようにリブ高さ $e=0.5$ mm、円周方向のピッチ $z=4$ mmの場合に、管軸方向のピッチが5mm、7mm、10mmの場合について実験を行った。第15図に管軸方向のピッチが5mm(∇ 印)、7mm(Δ 印)、10mm(□印)の結果を示す。軸方向ピッチが密な方が熱伝達率、及び圧力損失ともに高くなっている。これらの実験値も同様に前記の熱伝達率と抵抗係数の比($s_t/s_{t0})/(f/f_0)^{1/3}$

(f/f_0)^{1/3}で整理を行った結果を第16図に示す。図に示されるようにピッチが5mmと7mmはほぼ同じ値を示しているが、ピッチが10mmの実験値は5mmと7mmに比してかなり低い値を示している。これは、第17図に示されるように、三次元の突起部分3で渦が発生し、その渦が伝熱促進に有効に活用され、拡散する距離内に次の下流側の突起が存在する場合には性能が高く維持される。この場合が第17図(a)に示される場合で、渦の拡散する距離は、突起が二次元形状である場合突起高さの約10倍であり、リブ高さが0.5mmとした場合、 $l=0.5\text{mm}\times 10=5\text{mm}$ であり、第17図の l で示される部分は約5mmと推定され、すなわち軸方向ピッチが5mmと7mmの場合の性能は高い値を維持するが、軸方向ピッチが10mmの場合は、第17図(b)で示されるように $p>l$ の場合で、渦の拡散距離よりも軸方向ピッチの方が長いので、渦の生成されていない平滑な部分が多いため、伝熱促進効果が少なくなっている。前記したように、二次元リブ付伝熱管の実験デー

タから算出した熱伝達率と圧力損失の比で示される値(第16図、D)より高く、製作容易な実用的範囲とすると、管軸方向のピッチの範囲は5mm～9mmである。

以上、突起の各寸法について実験的に考察を行った結果、管内面の突起の高さの範囲が0.45mm～0.6mm、円周方向のピッチが3.5mm～5mm、かつ軸方向のピッチが5mm～9mmの範囲の突起列が最適寸法であった。

なお管内側に形成された丸みを帯びた突起列を過ぎる流れは、その配列によつて異なる。第18図に示される流れは、突起3が千鳥状に配列された場合の流れのパターンを示したもので、突起後流90が後流部の突起に再衝突することによつて、伝熱促進効果が維持されるわけであるが第19図に示されるように、萼盤状の突起3を配列すると突起後流100の渦が拡散する前に再び突起に衝突し、十分に伝熱促進効果を示さない。また、突起外側の流れは、管軸方向に直線状に流体が流れ、伝熱促進されないで、配列は萼盤状よりも千鳥

状にした方が伝熱性能は高くなる。

一方、従来から用いられている、コルゲートの突起の連続している、いわゆる二次元リブ付管は第11図に示されるように熱伝達性能は高いが、圧力損失が大幅に高くなる。圧力損失が高すぎると、同じ流体を循環させるのに要するポンプ動力が多く消費されるので圧力損失は低い方がよい。本発明の伝熱管の場合は、熱伝達率の上昇分により、同じ熱負荷であれば必要伝熱面積は少なくて良くなり、圧力損失がその分だけ減少するので抵抗係数の増加分は十分吸収することができる。

また、管壁近傍の乱流渦の生成は、管内径により余り影響されないで、この三次元突起を有する伝熱管の適用範囲はおよび10～25.4mmである。

以上述べた本発明の伝熱管の外表面にも伝熱面構造を設けることもできる。以下にその方法を述べる。まず、伝熱管の内面に、突起を形成する。

伝熱管内にリブを管外からロール加工で形成すると、その部分は微細加工伝熱面構造を形成する

ことができず、無効面積が増すので、伝熱管の構造として、管外にロール加工による凹部が形成されていず、管軸に対して平行度の高い面に伝熱促進面構造を実現する必要がある。このため次の工程において、第20図に示すように管外の平滑部207つまり突起を形成する際の凹部が形成されていない部分に多孔質な沸騰伝熱に有効な伝熱面構造208を設ける。なお、230は突起3を設ける際にできる凹部である。

この場合、管外熱伝達率を向上させるための管外微細加工を初めに行い、そののち管内リブを形成するためのロール加工を行つてもよいが、管内ロール加工を行う際にロール加工用工具の構造によつては、先に形成されている管外伝熱促進面構造を潰すことがあるので、管内加工を先に行い管内リブを形成し、そののち管外微細加工を行う場合をここでは説明する。

一例として、先ずローレット加工によつて、管軸に対してほぼ45°の方向に浅い溝(0.1～0.2mm)を形成させる。次に管軸に対してほぼ

直角にバイトによるすき起こし加工を行い、フィン212を形成させる。このフィン高さは約1mm、ピッチは0.4～0.6mmが適当である。このようにすることにより、加工前に平滑であつた面上にノコギリ歯状のフィン列が設けられる。次の工程によるロール加工などによつて、ノコギリ歯状フィンをねかせて、あるいはフィンをつぶすような方法により、隣接フィン同志を接合して、伝熱面の表皮下に空洞209と開孔210を有する多孔突構造208を形成出来る。第21図に伝熱管の外観を示す。

例えば、このような伝熱管の管内に水を、管外に低沸点有機媒体であるフロン冷媒を流す場合を例にとる。伝熱管を多数管内に挿入したシェルチューブ形熱交換器が広くターボ冷凍機の蒸発器などの利用されている。管内側の水の温度が管外側のフロン冷媒の温度に比べて約5～10℃ぐらい高いのが通例である。管内流は、突起の存在により、壁面近傍において乱れを生成し、管内壁と管内流の主流との間の熱交換が、平滑な面の場

合に比べて活発に行なわれる。

一方、管外壁と管外側のフロン液冷媒との熱交換においては、一旦沸騰が起きると、空洞内に蒸気泡が保持され、空洞内壁と蒸気泡の間に薄いフロン液膜が形成される。この薄液膜の蒸発によつて、液の蒸発にもとづく潜熱輸送が促進される。

第22図に第21図の実施例のもので突起高さが0.3mmの場合を例にとり、突起ピッチPが伝熱管の伝熱効率に及ぼす影響を示す。図からわかるように、高い伝熱効率が得られる突起ピッチPの最適な範囲がある。つまり、Pが大きい場合は管外側の平滑部の面積が大きくなり、沸騰伝熱に有効な機械加工により多孔質構造を形成する伝熱面積を広くとれる。そのために管外側の伝熱効率は、その面積増加分向上する。

一方、管内側の熱伝達率は、Pが大きくなると第23図のように突起3によつて生ずる流れの乱れ70が、その後流側の壁面近傍部まで影響を及ぼさない領域が生じるために、急激に伝熱効率が

低下する。この場合、管外側の沸騰性能が向上する割合に比べて、管内側の強制対流による伝熱性能の低下割合が大きい。そのために伝熱管としての総合的な伝熱効率はPが大きくなると急激に低下する。次にPが小さい場合は、ある程度よりも小さくしても乱れの影響が及ぼす伝熱面範囲は増加しないため、管内強制対流の伝熱効率はそれほど変化しなくなる。一方、管外側は、Pが小さくなると、管外くぼみの占める面積の、管外全体の面積に対する割合が急激に小さくなるために、管外沸騰伝熱性能も急激に低下する。従つて、伝熱管としての総合的な伝熱効率はPが小さくても急激に低下する。以上のような現象によつて、伝熱管の総合的な伝熱効率を高く保つ最適な突起ピッチPの範囲が存在することになる。第22図から伝熱管の熱通過率の最適な範囲は5mm～15mmである。

ところで、本発明の伝熱管でシエル・チューブ形熱交換器を構成する場合、第24図に示すように伝熱管の両端部215を広げておいて、突起形

成加工を行った後に、管板216に伝熱管を挿入して拡張などにより管板と伝熱管とを接合する方法がとれる。従来のプラグ加工、あるいは引き抜き加工により管内に突起を設ける方法は、伝熱管の両端部がストレートでなければ加工が出来ないため、一旦管内突起加工を行った後に、両端部分の突起を切削加工して、平滑面にしてから拡張を行っている。従つて本発明による伝熱管は、シエル・チューブ熱交換器を構成する場合において、その組立工程を減らすことが可能となる。

〔発明の効果〕

本発明によれば、熱伝達率が高く耐久性の高い伝熱管が得られると共に、安価に製造できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例になる伝熱管の縦断面図、第2図は、本発明の伝熱管構造を示す要部拡大斜視図、第3図(A)、(B)、(C)、

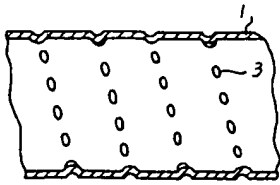
(D)は、この発明の他の実施例を示す平面図、第4図(A)、(B)、(C)、(D)は各々第3図の(A)、(B)、(C)、(D)の横断面

図、第5図及び第5A図は本発明の製法の一例を示す図、第6図は本発明の特性の説明図、第7図は、本発明の伝熱管の断面図、第8図は同正面図、第9図～第11図及び第14図～第17図は、本発明の実験データの一例を示す図、第12図、第13図及び第18図、第19図は突起ピッチと伝熱効率の関係を示す図、第20図、第21図は本発明を応用した伝熱管の一例を示す図、第22図～第23図は第20図の実施例の性能を説明する図、第24図は第20図の実施例の用途例を示す図である。

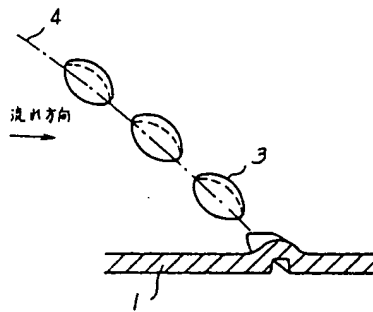
1…伝熱管、3…突起、40…歯、52…円管固定用工具、54…歯車状工具。

代理人 井理士 小川勝男

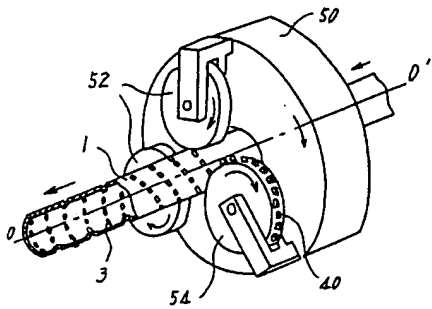
第 1 図



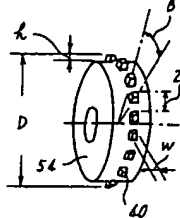
第 2 図



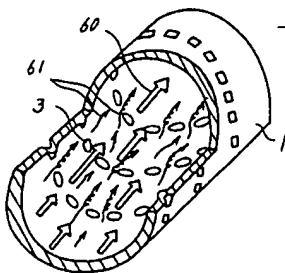
第 5 図



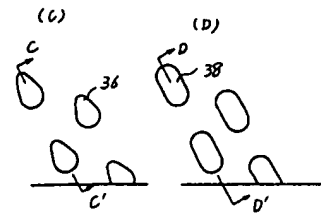
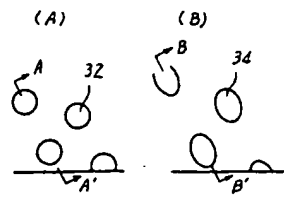
第 5 A 図



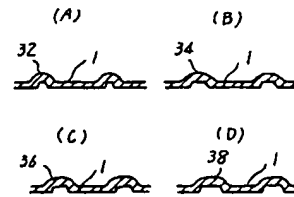
第 6 図



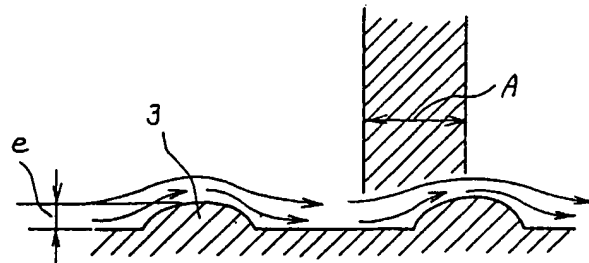
第 3 図



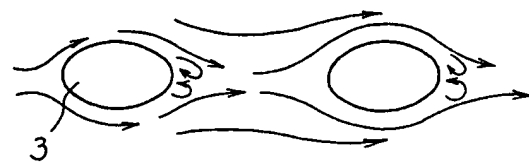
第 4 図



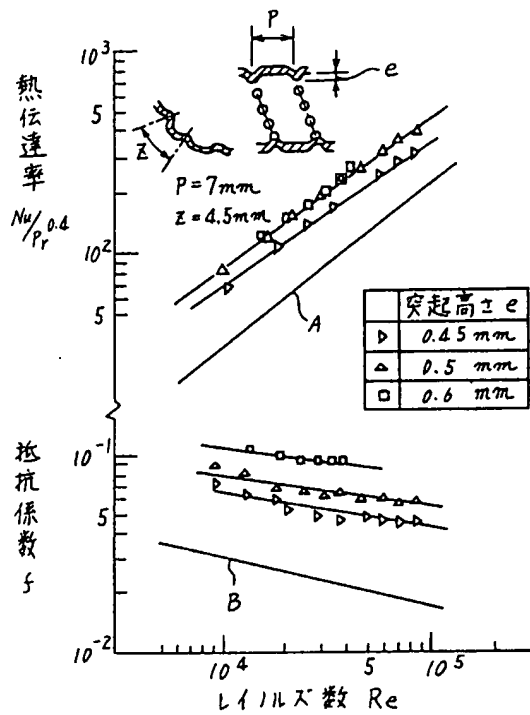
第 7 図



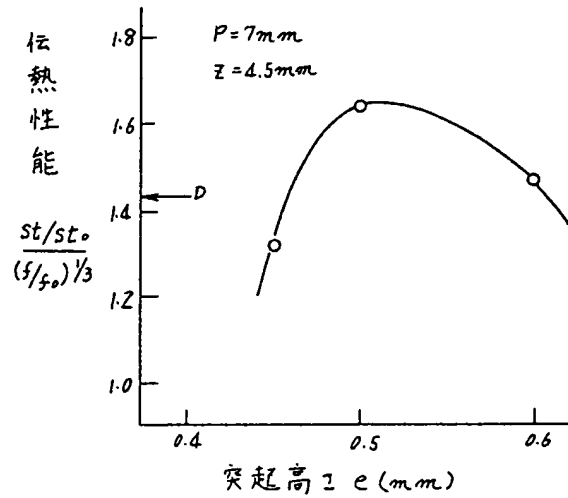
第 8 図



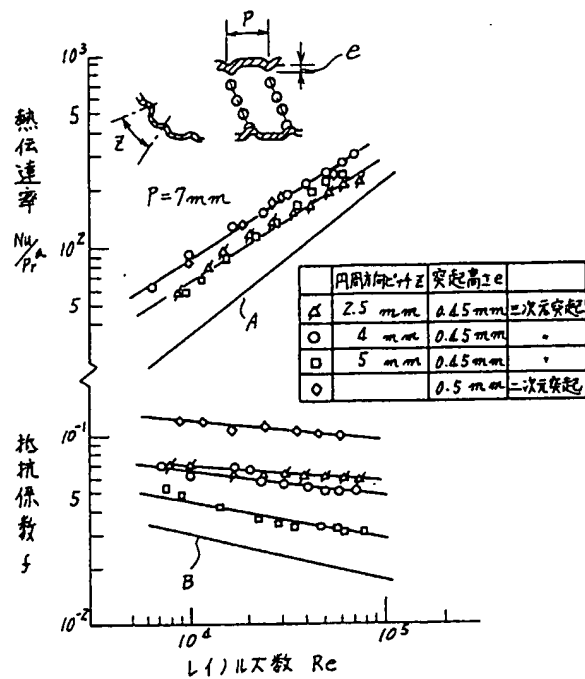
第 9 図



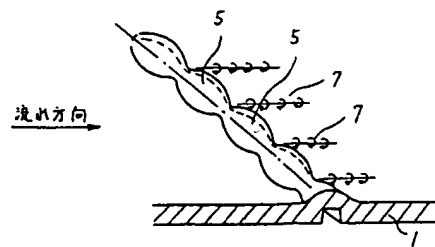
第 10 図



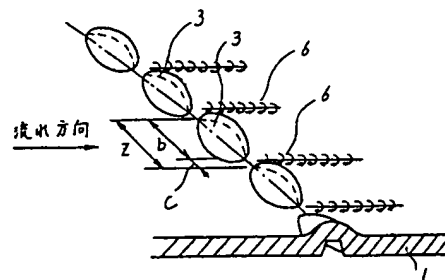
第 11 図



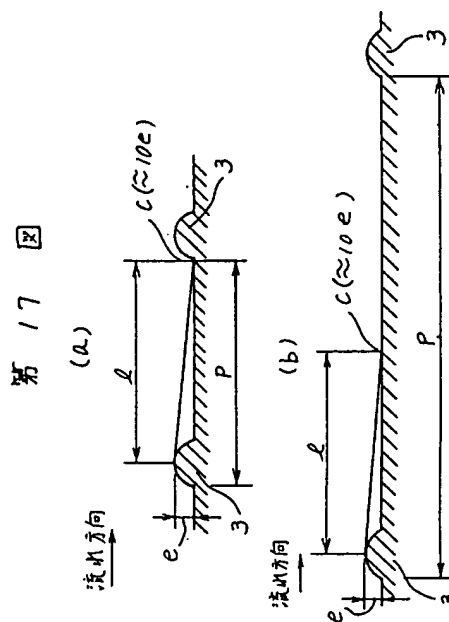
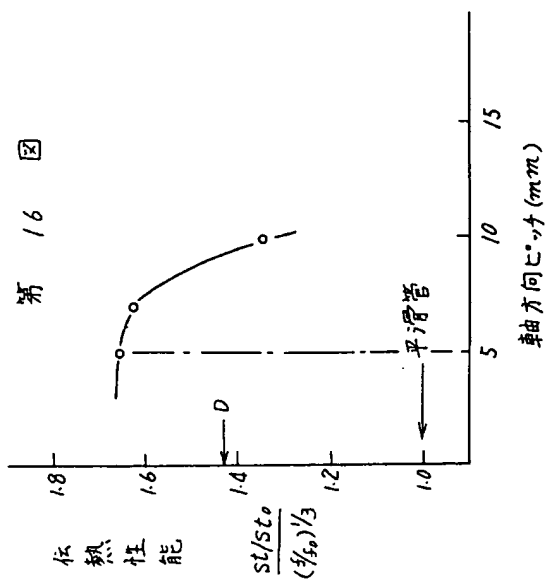
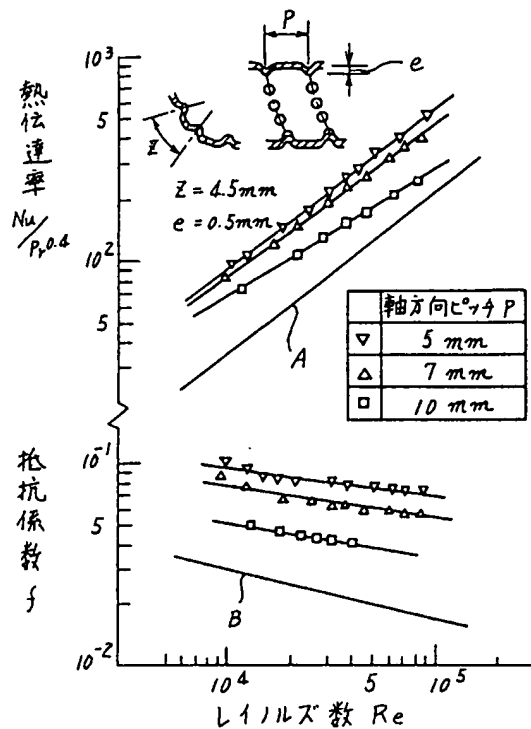
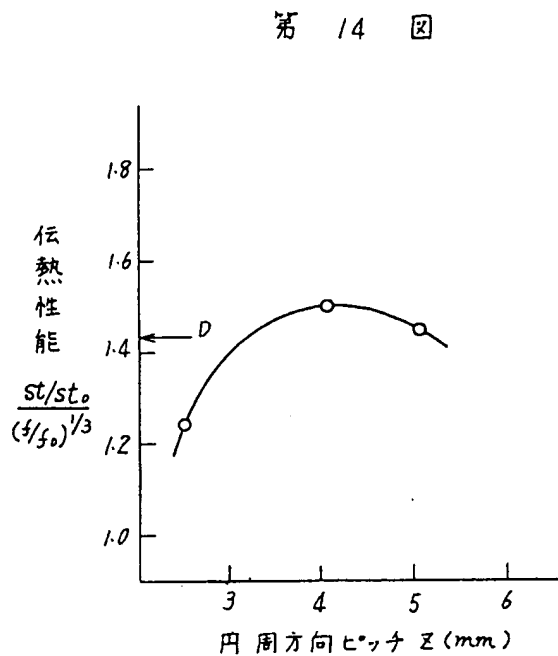
第 12 図



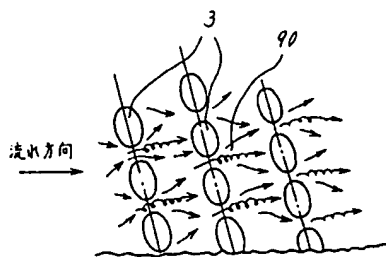
第 13 図



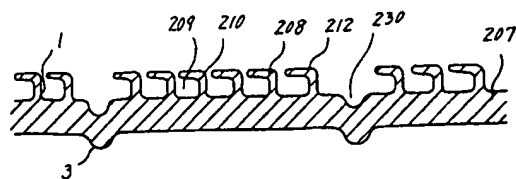
第 15 図



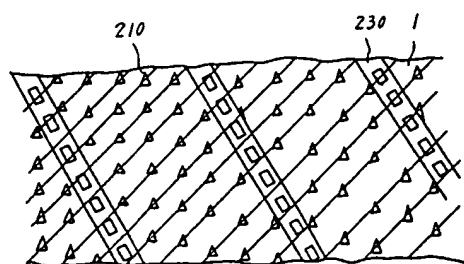
第 18 図



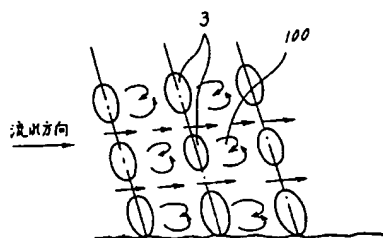
第 20 図



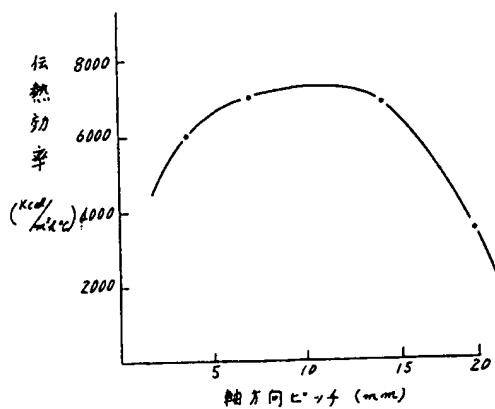
第 21 図



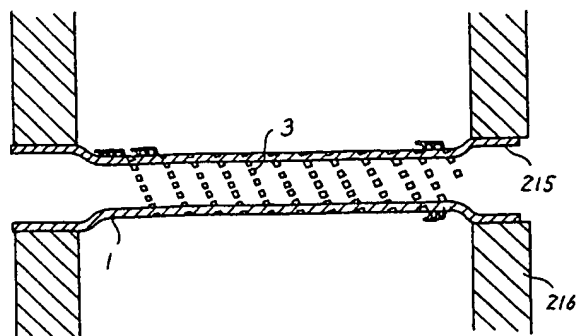
第 19 図



第 22 図



第 24 図



第 23 図

